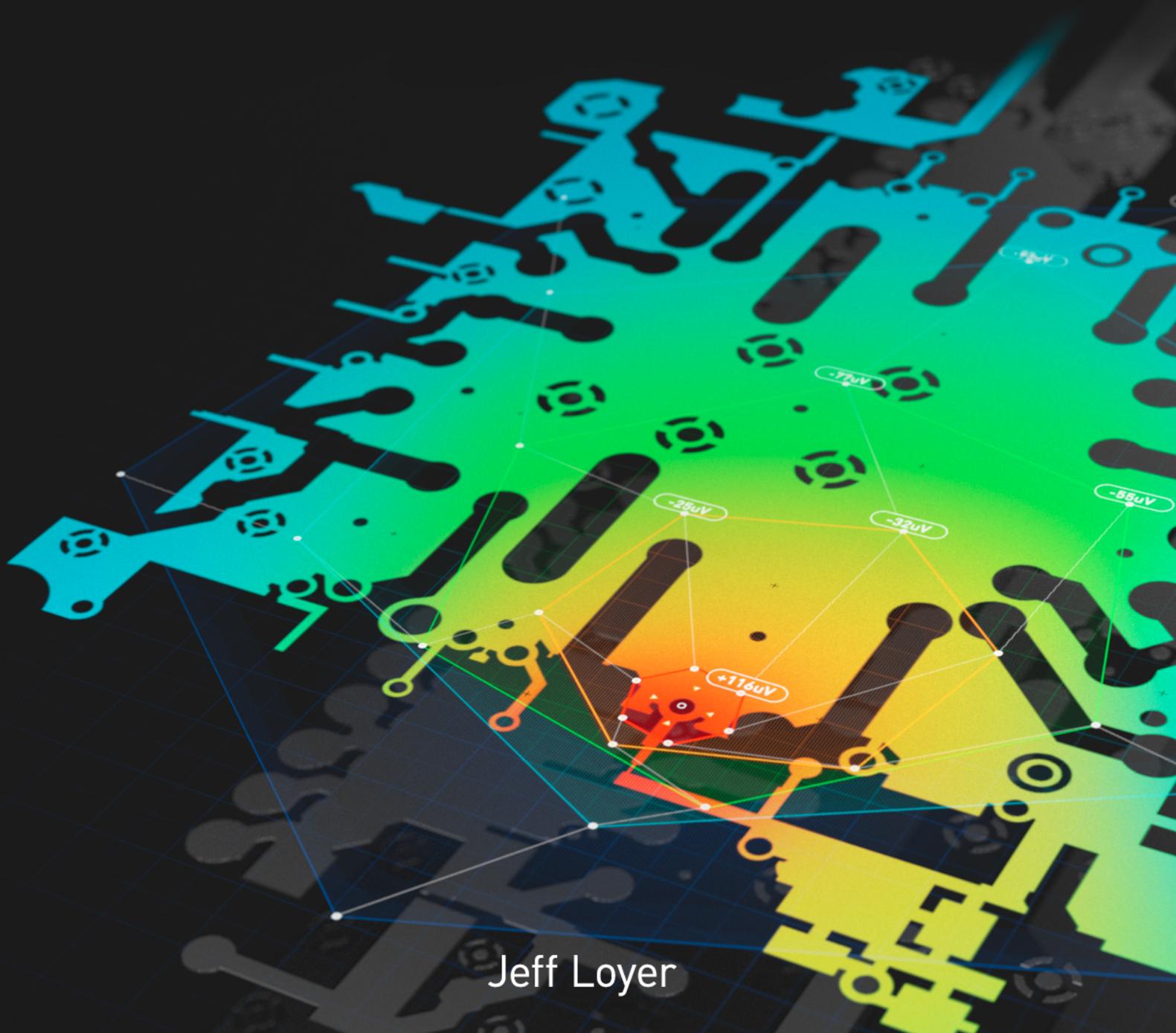


Altium[®]

Análisis CC de una PDN: esencial para el diseñador digital



Jeff Loyer

ANÁLISIS CC DE UNA PDN: ESENCIAL PARA EL DISEÑADOR DIGITAL

INTRODUCCIÓN

El análisis CC de una red de distribución de potencia (PDN), comúnmente conocido como "caída IR", "integridad de energía CC", o "IP-CC", responde ciertas preguntas fundamentales que todo diseñador digital (o analógico) debería preguntarse y responderse:

- ¿He suministrado suficiente metal entre mis fuentes y cargas para distribuir el voltaje adecuado a cada carga?
 - ¿Suficientes formas de potencia y tierra?
 - ¿Suficientes vías, y son lo suficientemente grandes?
- ¿Puedo optimizar mis formas de PDN con ingenio?
- ¿Qué parte de mi diseño tiene más posibilidad de calentarse (quemarse)?
- ¿He hecho algo extraño con mis formas de conexión a tierra?

Mis diseñadores digitales están al tanto de la necesidad de un análisis de integridad de señal preciso, o cuán esencial es comprender los aspectos de CA de sus PDN ("¿cuántos capacitores de desacople necesito?", por ejemplo), pero le dan poca importancia a su análisis de PDN CC ("IP-CC"). Sin embargo, el análisis IP-CC también es crítico, ya que puede brindar un análisis fundamental de la calidad del diseño y ahorrar espacio y capas de diseño valiosos, al asegurar un diseño digital rentable. La pregunta fundamental que responde es relativamente sencilla – ¿he provisto suficiente metal (en nuestro caso, exclusivamente cobre) entre mi fuente de potencia y todas las cargas para distribuir energía adecuada a esas cargas? Pero en el mundo de hoy, con pequeños diseños integrados, responder la pregunta de forma precisa puede suponer la diferencia entre éxito y fracaso.

No hace mucho tiempo atrás, el diseño digital estaba dominado por grandes factores de forma – por ejemplo, computadoras personales de escritorio y grandes servidores. En estos diseños, capas enteras de metal podían estar destinadas a la distribución de energía, lo que aseguraba una caída de voltaje mínima entre la fuente y las cargas. Las normas generales conservadoras podían utilizarse para calcular cuánto metal se necesitaba con una consecuencia poco significativa, si se utilizaba más área de la necesaria para la distribución de energía. El diseñador digital solo se aseguraba de que la distribución de energía CC fuese "adecuada", con poca atención a la optimización de las formas de distribución de energía para minimizar su área y capas.

Esos días se han ido – incluso los diseños de servidores se están volviendo increíblemente densos y el espacio de la placa es un bien valioso que no se puede desperdiciar con prácticas de diseño demasiado conservadoras. Ahora todo el metal destinado a la distribución de energía debe ser "necesario", ya que no tenemos el lujo de capas adicionales o tamaño de placa. El análisis IP-CC brinda un medio sofisticado de asegurar que el metal de distribución de energía no solo sea adecuado sino también necesario.

DATOS BRINDADOS POR HERRAMIENTA IP-CC

El primer dato que brinda una herramienta IP-CC es la caída de voltaje desde la fuente hasta las cargas, debido a la resistividad de la red de energía. Ya no podemos suponer que es cero como consecuencia de un "plano" de energía indefinidamente grande. A medida que reducimos el diseño, el concepto de "planos" puede que no se emplee. Si bien podemos tener una capa principalmente destinada a la distribución de energía, es probable que la capa se rompa en muchas secciones (redes) para distribuir voltajes únicos alrededor del diseño. IP-CC nos indica cuánta caída de voltaje se induce en cada red, y nos permite asignar el área adecuada a cada red de voltaje. **La figura 1** muestra un trazado de voltaje en 3D característico de una forma de energía de 1,8 V desde su fuente (U4, un VRM) hasta la carga (U1, una FPGA) a lo largo de su recorrido de 2 capas (las vías están ocultas en esta vista). Un control cuidadoso del trazado de voltaje mostraría:

- Solo 10 mV de caída entre U4 (1,7 V fue reducido un 5% desde el 1,8 V nominal) y U1 (1,69 V).
- El único camino desde U4 hasta el anillo de voltaje de la FPGA es la fuente más grande de caída de voltaje.

ANÁLISIS CC DE UNA PDN: ESENCIAL PARA EL DISEÑADOR DIGITAL

- Hay caída de voltaje desde algunas vías – el color de la red en la superficie de algunas vías es diferente que en la base.
- No hay caída de voltaje CC entre la fuente y el capacitor de desacople, C3, como se esperaba. Los capacitores son tratados como "abiertos" para el análisis CC.

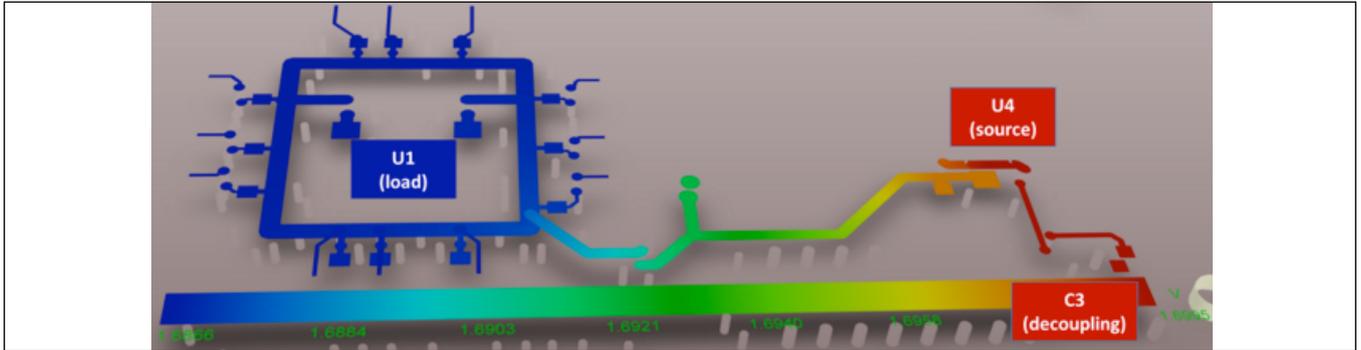


Figura 1: trazado de voltaje desde la fuente de energía (U4) hasta la carga única (U1, una FPGA).

Una herramienta IP-CC también reportará las densidades de corriente ("J") dentro de las formas de interés, lo que le permite al diseñador enfocarse en llevar a cabo correcciones en esas áreas con densidad de corriente más alta ("puntos de compresión" W/J_{max}), si fuese necesario. Observe que este trazado confirma lo que constatamos del trazado de voltaje, quizás de un modo más sencillo para algunas cuestiones. Desafortunadamente, en general, no existe un único umbral de valor para establecer un límite de la densidad de corriente, por ende, a menudo se utilizan solo valores relativos. El rendimiento térmico no dependerá solo de la densidad de corriente, pero sí de la disipación térmica del sistema, e incluso, la sección transversal de la forma, como fue demostrado por Doug Brooks y Johannes Adam en su trabajo "Trace Currents and Temperatures Revisited" (Doug Brooks, n.d.).

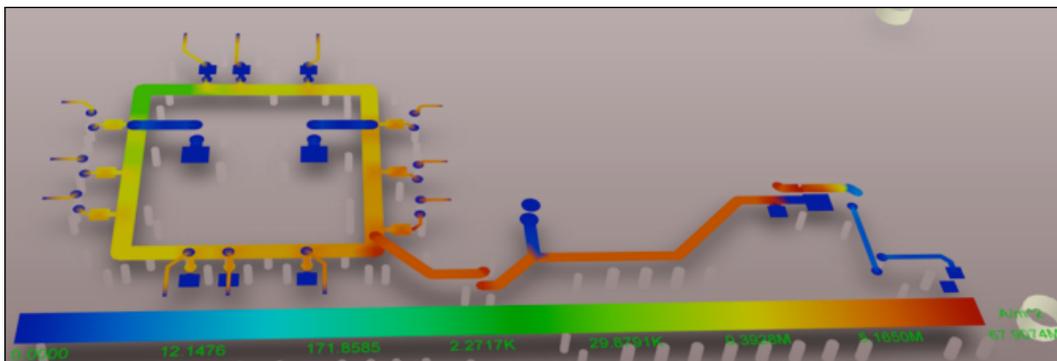


Figura 2: trazado de densidad de corriente de red de potencia entre fuente de energía (U4) y carga única (U1, una FPGA)

Sin una herramienta IP-CC, es probable que el diseñador utilice normas convencionales que dictan un ancho en particular, en base a la corriente que la forma de distribución de energía está transportando. Existen al menos dos problemas con este enfoque:

- 1) La utilización del mismo ancho mínimo independiente, de la distancia entre la fuente y la(s) carga(s) a menudo no tiene sentido – por ejemplo, usted no utiliza el mismo cable de calibre para cables de 6 y 100 pies de extensión.
- 2) La utilización del mismo ancho en todo el largo de la forma no solo desperdicia espacio de la placa, sino que tampoco representa el diseño más eficiente de la forma de distribución de energía.

Los resultados de una herramienta IP-CC le permitirán al diseñador medir correctamente su forma de distribución con base en lo largo y la forma de distribución de energía para distancias cortas donde sea necesario y compensar por aquellas limitaciones al ensanchar la forma donde el espacio de la placa está más disponible. Una herramienta IP-CC es crítica para encontrar la forma óptima de las redes de distribución de energía.

ANÁLISIS CC DE UNA PDN: ESENCIAL PARA EL DISEÑADOR DIGITAL

Hoy en día, las formas de la conexión a tierra no pueden considerarse infinitas – los diseños de hoy en día fuerzan los límites con respecto a cuánta área se puede asignar a la conexión a tierra. Estas restricciones en la superficie de conexión a tierra pueden causar voltajes significativos en la "tierra"; ya no podemos suponer que es cero. Y el problema del voltaje en la tierra es más complejo que para las redes de potencia – el voltaje actual en cualquier punto en la red de la tierra será una superposición de los voltajes inducidos por las corrientes desde varias redes de energía. Por ejemplo, un diseño puede tener 1,8 V y 3,3 V distribuidos a un dispositivo. Si bien los voltajes en las dos redes de energía son teóricamente independientes, el dispositivo verá un voltaje en sus pines de conexión a tierra que es la suma de los voltajes inducidos por las corrientes 1,8 V y 3,3 V. Es esencial comprender y modelar esa relación con precisión. La buena noticia es que, para CC, la superposición es bastante sencilla y la simple adición (o sustracción, para suministros de polaridades opuestas) es correcta. Pero el diseñador debe estar al tanto de que el tamaño de la conexión a tierra tendrá que acomodar sus corrientes desde múltiples fuentes, mientras que los tamaños de la forma de energía son más sencillos.

Una herramienta IP-CC debe ser capaz de brindar el voltaje CC para un dispositivo que utiliza el voltaje a tierra a ese dispositivo como el voltaje de referencia. El voltaje relativo a un punto de "tierra" arbitrario (como la fuente de voltaje) a menudo no tiene sentido. Las corrientes en la forma de conexión a tierra pueden inducir un voltaje significativo en la red de conexión a tierra, esto se debe comprender en el análisis CC de la red de distribución de energía.

Una herramienta IP-CC también brinda una perspectiva valiosa con respecto a cuántas vías se necesitan, y cuán grandes son, para la distribución de energía. A pesar de que parece un ejercicio insignificante, las vías de energía generalmente consumen espacio valioso en todas las capas, bloqueando el enrutado en las capas superiores e inferiores de sus capas de energía asignadas y utilizando vías demasiado o excesivamente, grandes que son un lujo que los diseños de hoy en día no se pueden dar. Un resultado realmente irónico al ser excesivamente conservador en la distribución de energía, por medio de distribución, es que esas vías pueden perforar otro plano de energía o de tierra, lo que causaría más problemas para el diseño de los que resuelven.

COMPRENDER LOS EFECTOS DE LA TEMPERATURA

Algo que la mayoría de las herramientas IP-CC no brindan directamente son los efectos térmicos de su corriente – cuánto calientan el metal. Esto puede ser crítico dada la relación I^2R entre la corriente y la energía – hasta una pequeña resistencia puede disipar grandes cantidades de energía si la corriente es alta, lo que provoca zonas de calor local y fallas asociadas de los materiales dieléctricos o conductores. Sin embargo, las herramientas IP-CC brindan información de la densidad de corriente de las formas de energía y conexión a tierra, lo que permite a los diseñadores optimizar para densidad de corriente baja y, por ende, una disipación de energía menor.

La especificación de IPC 2152 (anteriormente 2221) brinda asesoramiento sobre cómo evitar problemas al proporcionar anchos de pistas mínimos para un aumento de temperatura aceptable. Los diseñadores de PCB, a menudo hacen un mal uso de esto, al ingresar valores de aumento de temperatura muy conservadores (por ejemplo 1°C) y, luego utilizar el ancho de pista correspondiente como ancho mínimo para toda su forma de PDN desde la fuente a todas las cargas. Emplear la especificación de esa manera fuerza al diseñador a asignar más área para la distribución de energía de la que es necesaria, lo cual consume espacio de diseño valioso o requiere más capas para el diseño. Para crear el diseño de distribución de energía más eficiente, IPC-2152 debe comprenderse bien, no se debe emplear a ciegas. El diseñador que emplea la especificación con más detenimiento, además de sacar ventaja de la información que la herramienta IP-CC provee, puede reducir la superficie de PDN mientras que asegura un diseño confiable.

En vez de utilizar de manera arbitraria un valor de aumento de temperatura, bajo permitido, cuando se emplea IPC-2152, el diseñador digital debe utilizar un valor que represente el aumento de temperatura que el material eléctrico y el metal puedan adaptar sin arriesgarse a daños o fallas. Por ejemplo, **la figura 3** demuestra que permitir un aumento de temperatura de 45°C en vez de solo 1°C le permite al diseñador reducir el ancho mínimo de pista desde 0,3" (rojo) a solo 0,02" (azul) para una corriente 2A en cobre de 1 oz. Una herramienta IP-CC puede utilizarse para asegurar que los requisitos de voltaje de todas las cargas se cumplan cuando se utiliza el ancho mínimo.

ANÁLISIS CC DE UNA PDN: ESENCIAL PARA EL DISEÑADOR DIGITAL

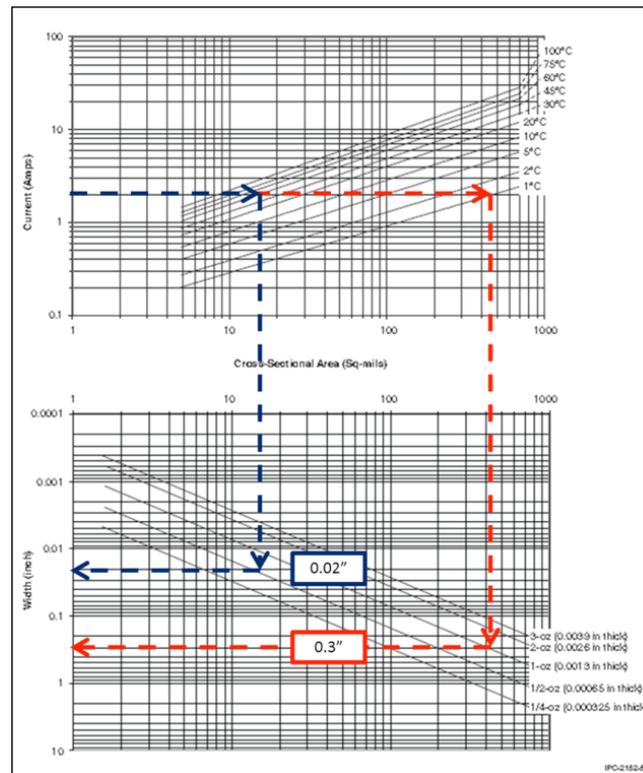


Figura 3: reducción del ancho de pista de 0,3" a 0,02" mediante el uso de IPC-2152

Desafortunadamente, el problema térmico es muy complicado, e incluso tener disponible una herramienta de simulación térmica puede brindar solo conocimiento limitado debido a la complejidad del problema¹. Una respuesta precisa requiere modelos precisos para la variedad de componentes que contribuyen al rendimiento térmico del sistema como el material de PCB, número de capas, densidad del cobre, generación de calor y disipación de varios componentes, flujo de aire alrededor del diseño, condiciones ambientales, etc. Un diseñador digital generalmente se verá forzado a ser conservador, pero deberá considerar algunos aspectos críticos cuando considere los efectos térmicos:

- No todos los diseños son iguales térmicamente. Un diseño que reside en un ambiente frío con componentes de baja energía requerirá menos adaptación para los efectos térmicos que uno que consume mucha energía en un recinto muy caluroso, por ejemplo.
- No todas las áreas en un diseño son iguales térmicamente. Se debe tener un cuidado especial donde la disipación del calor es más deficiente – por ejemplo, en capas externas o cerca de componentes muy calientes. Las áreas bien alejadas de los componentes calientes no estarán tan sujetas a efectos térmicos, ya que la energía se disipa con mayor eficiencia. Alimentar un dispositivo que requiere energía con filamentos estrechos en su arranque es una receta para el desastre.
- ¿Cuánto ha aumentado la densidad de corriente? El calentamiento es una función de la energía consumida por la forma, proporcional a IR^2 . Se debe tener un cuidado especial de los trazados de densidad de corriente y se debe agregar cobre donde la densidad de corriente sea máxima. Como se mencionó anteriormente, es probable que no sea posible establecer un límite de "densidad de corriente máxima" ya que los efectos térmicos dependen de muchos otros factores, pero IP-CC le permite al diseñador destacar las áreas más probables a tener problemas y medir lo "malo" en el diseño de las áreas.
- ¿La forma se encuentra en capas externas o internas? Los datos IPC-2152 indican que las capas internas (stripline) disipan el calor más fácilmente que las capas de microstrip (a pesar de que esto puede depender de la cantidad de flujo de aire en la pista que aumentará la refrigeración por convección – puede haber algunas pistas de microstrip que disipan bien en calor).

ANÁLISIS CC DE UNA PDN: ESENCIAL PARA EL DISEÑADOR DIGITAL

- Los requisitos térmicos dependerán, en gran parte, del material utilizado. Los diseños flexibles (en especial aquellos que son activamente flexibles) serán menos tolerantes a altas temperaturas que las PCBs rígidas, por ejemplo.
- ¿Hay cobre cerca relativamente frío que disipará mejor el calor que el material dieléctrico?

CÓMO EVITAR EBSB ("ENTRA BASURA, SALE BASURA") EN IP-CC

Sin duda la herramienta IP-CC debe brindar resultados precisos si va a ser útil. La precisión de la herramienta no es solo una función del motor de modelaje sofisticado 2D o 3D utilizado, pero de los supuestos incluidos en la simulación. Es fundamental que todos los que utilicen estas herramientas estén familiarizados con los supuestos y los parámetros críticos incluidos en la herramienta.

El primer parámetro que hay que "comprender" es la conductividad del metal utilizado en el diseño. Si bien parece sencillo, está mucho más comprometido de lo que muchos creen. La mayoría de las herramientas de integración de señal y energía, por ejemplo, suponen que las placas de circuitos impresos (PCBs) utilizan "cobre" para su metal, con una conductividad de $5,88e7S/m$. Sin embargo, los datos de la industria^{2,3} indican que el cobre electrodepositado utilizado en PCBs es significativamente menos conductivo que el cobre puro, solo $4,7e7S/m$ a $25^{\circ}C$. Si los resultados de validación y simulación varían, se debe verificar la conductividad del metal.

La conductividad también se debe adaptar para la temperatura operativa actual del diseño. Por ejemplo, la conductividad del cobre cae 0,4% por cada grado centígrado. El metal de un diseño de cobre que funciona a $125^{\circ}C$ es un 40% menos conductivo que el valor de $25^{\circ}C$. Se debe comprender esa diferencia en la simulación – no es positivo tener un motor de simulación altamente sofisticado si funciona en supuestos erróneos. (Nota: para los diseños que funcionan a temperaturas extremadamente bajas o altas, incluso la linealidad del coeficiente de temperatura, $0,4\%/^{\circ}C$, se debe examinar para los rangos esperados).

Otro supuesto fundamental que es difícil "comprender" es el tamaño de las vías. Muchas herramientas de diseño de PCB utilizan solo un valor para representar el tamaño de una vía en particular y lo que ese número representa exactamente es ambiguo. A menudo se piensa que las vías son columnas sólidas, pero eso muchas veces no es correcto – puede que no estén completamente rellenas y, por ende, pueden ser columnas huecas, con diámetros internos y externos (D.I. y D.E., respectivamente). El área transversal actual de la vía depende de esas dos dimensiones – un cilindro grande, pero no hueco, puede tener menos área transversal que un cilindro relleno más pequeño. Para las vías que se utilizan generalmente en la distribución de energía, la mayoría supone que si un único valor se da para una vía, ese valor representa el tamaño de perforación (diámetro externo). Se supone que la vía está completamente llena o mejor representada por una columna sólida. Ese supuesto puede no ser válido, y dará un resultado erróneo.

Para comprender con exactitud cómo modelar adecuadamente las vías, el usuario debe saber cómo se especifican las dimensiones de la vía y cómo se verán las implementaciones existentes de esas especificaciones (¿cómo se verá la vía cuando sea seccionada?). La mayoría de las herramientas no le permitirá a los usuarios brindar un diámetro interno y externo y solo permitirá vías sólidas. Si ese es el caso y se sabe que las vías son huecas en la implementación presente, el diámetro externo de la vía debe ser adaptado para representar el área transversal adecuada. Afortunadamente, encontrar el diámetro adecuado para una columna sólida que tiene la misma área transversal como una columna hueca con un D.I. y un D.E. es un ejercicio matemático insignificante; es simplemente la diferencia entre dos, D.E. menos D.I. El desafío es escalar las vías adecuadamente cuando se lleva a cabo la simulación sin tener consecuencias no deseadas en el diseño físico.

¹ Doug Brooks, Johannes Adam. Artículos sobre Corriente de pista/Temperatura/Energía/Resistencia. De UltraCAD: http://ultracad.com/article_temperature.htm

² Loyer, Kunze, Burkhardt. Accurate Insertion Loss and Impedance Modeling of PCB Traces. DesignCon 2013. San Jose, CA.

³ Loyer, Kunze. Humidity and Temperature Effects on PCB Insertion Loss. DesignCon 2013. San Jose, CA.

ANÁLISIS CC DE UNA PDN: ESENCIAL PARA EL DISEÑADOR DIGITAL

Si se utilizan capas externas de la PCB para la distribución de energía, estas representan un ítem especialmente problemático para modelar. El espesor del cobre en las capas externas de la PCB es una función del espesor del revestimiento, y eso puede variar de manera significativa a través de la placa. Asegúrese de medir el espesor de las capas exteriores si se utilizan para la distribución de energía y los resultados de la simulación no coinciden con las medidas del laboratorio.

Y finalmente, representar adecuadamente las cargas parece sencillo al principio, pero no lo es. Un diseñador debe suponer que, para una carga pasiva como un resistor o diodo, la carga se modela mejor como un resistor, y los componentes activos como las FPGAs deben modelarse como sumideros de corriente. Sin embargo, cuando modelan los componentes activos como sumideros de corriente, es posible que se tienten a utilizar la corriente máxima (I_{max}) como consumo de corriente. Cuando se realizan simulaciones IP-CC para medir la caída de voltaje en la PDN, esto es difícil de justificar y puede provocar resultados demasiado pesimistas. Es posible que el consumo de corriente máximo solo suceda cuando se emplea el máximo voltaje (V_{max}). Comúnmente simulamos en los límites más bajos del rango de voltaje y el consumo de energía debe reflejar eso para obtener resultados de simulación precisos. Un modelo más razonable para una carga activa durante las simulaciones de caída de voltaje puede ser, en cambio, un resistor cuyo valor es una función de la corriente y voltaje nominales del dispositivo, V_{nom}/I_{nom} . Por otro lado, algunos diseñadores pueden tener valores máximos de densidad de corriente que están tratando de evitar por consideraciones térmicas (en vez de valores de voltaje mínimos por consideraciones eléctricas). Para simulaciones de densidad de corriente máxima mediante el uso de IP-CC (por consideraciones térmicas), probablemente V_{max} debe utilizarse para fuentes, R_{min} para cargas pasivas, e I_{max} para cargas activas. Esto dará una representación más precisa de posibles corrientes máximas.

Cuando se utiliza una herramienta IP-CC, es crítico comprender todos los supuestos inherentes que se usaron en la simulación y validar que esos supuestos sean precisos; de otro modo el resultado será irrelevante.

VALIDAR RESULTADOS

Es crítico que cualquier diseño esté correctamente validado para asegurar la precisión de la simulación y los parámetros incluidos en él. Afortunadamente, esto es bastante sencillo para IP-CC. El voltaje de cada carga generalmente es fácil de medir, incluso mediante el uso de una conexión a tierra local para referencia. Quizás los aspectos más desafiantes son: 1) encontrar un modo de asegurar que todas las cargas estén consumiendo su energía máxima, cuando se toman las medidas, si el voltaje del diseño de conexión a tierra es un factor significativo, y 2) comprender adecuadamente los efectos térmicos en la resistividad. Puede que sea necesaria la superposición si no es práctico ejercer simultáneamente todas las cargas al límite. En este caso, el desafío será medir el voltaje en "tierra" en cada carga, relativa a la misma referencia utilizada en simulaciones. Para el aspecto térmico, será necesario tener una idea de la temperatura actual de las formas de potencia para calcular la conductividad correcta del metal, la cual varía como función de la temperatura. Esto requiere una instrumentación que no se encuentra comúnmente en la mayoría de los laboratorios de validación, como los termopares, los termómetros infrarrojos o los sensores de temperatura IR.

Si los voltajes medidos no coinciden con las simulaciones, cada uno de los supuestos y resultados de simulación deben ser verificados. Hemos intentado brindar suficiente información relacionada a cómo asegurar supuestos adecuados, ¿pero cómo controlar los resultados? Los datos más fundamentales que una herramienta IP-CC debe comprender es la resistencia entre la fuente y las cargas, y eso generalmente no se brinda directamente. Sin embargo, es bastante sencillo construir un circuito de prueba que provea un valor que usted pueda comparar con una medida ohm-metro actual de un diseño desnudo. Si ese diseño se modela como una batería 0V y una carga se modela como un sumidero de corriente 1A, el voltaje en la carga directamente representa la resistencia entre la fuente y la carga (ignore la señal del voltaje). El ejemplo de abajo (**Figura 4**) demuestra los resultados de determinar la resistencia entre la fuente (U4 pin 2 para energía, J1 para pines 2 y 3 para conexión a tierra) y la carga (U1) mediante el uso de un simulador IP-CC.

ANÁLISIS CC DE UNA PDN: ESENCIAL PARA EL DISEÑADOR DIGITAL



Figura 4: configuración de IP-CC para medir resistencia ($1V = 1\Omega$)

Los resultados indican que hay $30m\Omega$ de resistencia en la PDN para U1 (note los $30mV$ en U1 en la **Figura 4**, se muestran como “ $-0,03V$ ”). Para confirmar esto en el laboratorio, colocará un 0-ohm "corto" entre U4 pin 2 y J1 pines 2 y 3 (por ejemplo, un pedazo grande de metal) y medirá la resistencia entre los pines de energía y la tierra de U1. Una lectura diferente a $30m\Omega$ indica un error en la simulación (deberá utilizar técnicas especiales como 4 detecciones térmicas para medir estas resistencias bajas).

Si es necesario distinguir entre la resistencia de los planos de potencia y tierra, eso se puede realizar al analizar el voltaje de cada uno en este circuito de prueba. Vea que en la **Figura 5** hay $27m\Omega$ en la forma de potencia (el azul oscuro representa $27mV$, = $27m\Omega$) y que en la **Figura 6** hay $3m\Omega$ en la forma de conexión a tierra (representada en rojo).

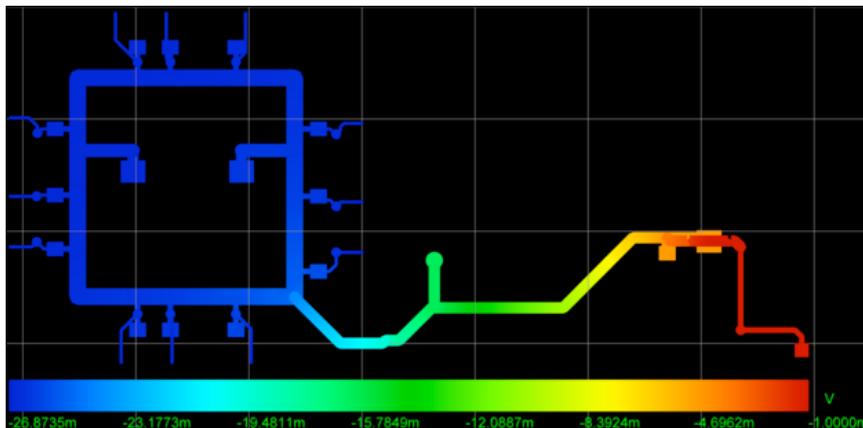


Figura 5: trazado de voltaje de la forma de energía que resulta al medir la resistencia ($1V = 1\Omega$)

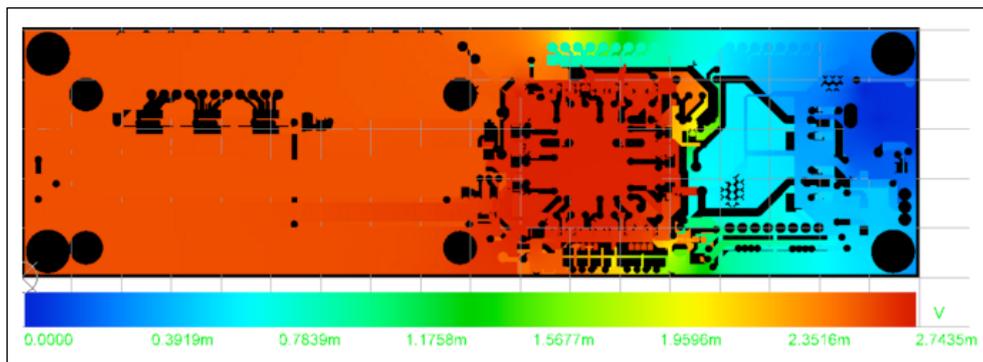


Figura 6: trazado de voltaje de la forma de conexión a tierra que resulta al medir la resistencia ($1V = 1\Omega$)

ANÁLISIS CC DE UNA PDN: ESENCIAL PARA EL DISEÑADOR DIGITAL

Un factor crítico a tener en cuenta, durante la validación, es la diferencia en resistividad debido a la temperatura. La resistividad del cobre, por ejemplo, generalmente aumenta ~0,4% por grado centígrado. La resistencia de una PDN puede aumentar un 20% para un diseño que se funciona a 75°C, comparado con la temperatura ambiente de 25°C. Esto también puede ser una ventaja – si el voltaje de un sistema cumple con las expectativas cuando funciona caliente en carga completa, el diseñador se asegura de que el cobre no sea más caliente de lo esperado, y así reduce la posibilidad de fallas catastróficas debido a temperaturas inesperadas en esa forma.

OTROS RESULTADOS DE IP-CC

Ejecutar IP-CC en diseños también puede revelar muchas imperfecciones que, de otro modo, no serían visibles. Trazar la densidad de corriente de las formas de energía y conexión a tierra, por ejemplo, hace fácilmente visibles las "penínsulas" e "islas" de estas formas. **La figura 7** muestra los trazados de densidad de corriente de un diseño de 2 capas, luego de ejecutar IP-CC. Vea la "península" azul oscuro encima de la capa y la "isla" en la capa inferior. Esta vista única de IP-CC resalta los aspectos del diseño que de otro modo no son visibles. Tenga en cuenta que hay que tener cuidado antes de suponer que si una forma no se utiliza para IP-CC de un voltaje en particular, entonces no es necesaria; esa forma se puede utilizar para otro voltaje, o para la distribución de energía CA (conectada a capacitores). Colocar pequeños resistores en lugar de los capacitores durante una simulación de IP-CC y controlar la distribución de corriente correspondiente le permite al diseñador observar si la isla o la península en una forma de energía se utiliza para la distribución de energía CA (tenga en cuenta que los resultados CC no serán válidos para esta simulación). Las "islas" o "penínsulas" de corriente son problemáticas por el hecho de que tendrán frecuencias de resonancia específicas, lo que posiblemente causen fallas solo cuando se presentan ciertas condiciones. Las fallas pueden aparecer al azar y, por ende, son muy difíciles de resolver – una receta para una validación demorada.

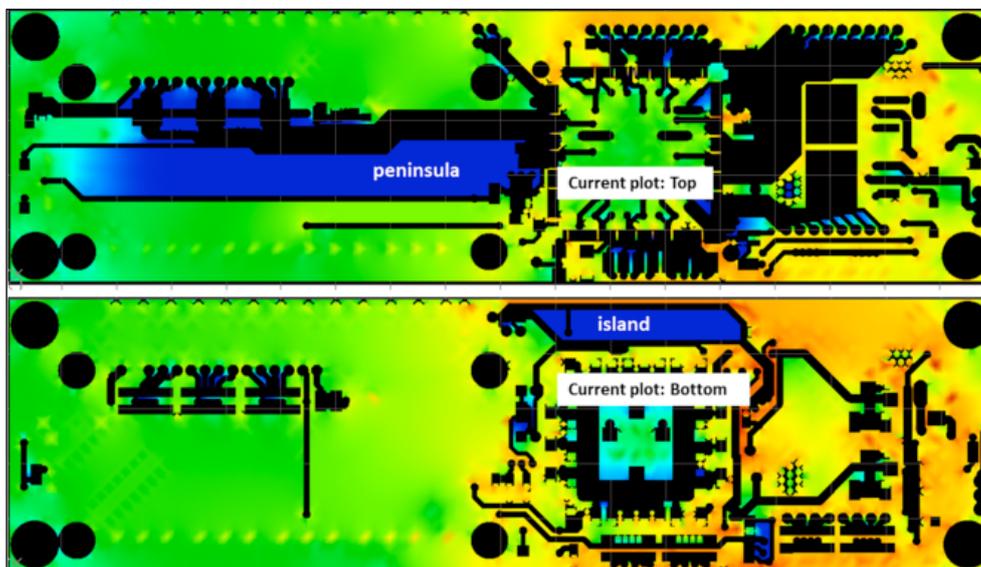


Figura 7: trazados de densidad de corriente de la forma de conexión a tierra que muestra "penínsulas" e "islas"

La densidad de corriente y los trazados de voltaje de las formas de energía y conexión a tierra también pueden revelar problemas con su diseño al canalizar con eficiencia la corriente entre la fuente de energía y las cargas. El trazado de voltaje encima de la forma de conexión a tierra en la **Figura 8** deja en claro la ineficiencia de los caminos entre las fuentes (los reguladores de voltaje, o RVs) y la carga (FPGA). Puede haber motivos válidos por lo que no se tienen caminos directos entre los RVs y FPGA, pero IP-CC resaltará las ineficiencias para que se puedan abordar si fuese posible. Como una nota aparte, se debe señalar que esta forma es problemática para la distribución de energía CA, ya que es posible que se ocasionen excesivas inductancias en el camino de conexión a tierra y correspondiente "rebote a tierra" (aumentos de inductancia con el área de bucles).

ANÁLISIS CC DE UNA PDN: ESENCIAL PARA EL DISEÑADOR DIGITAL

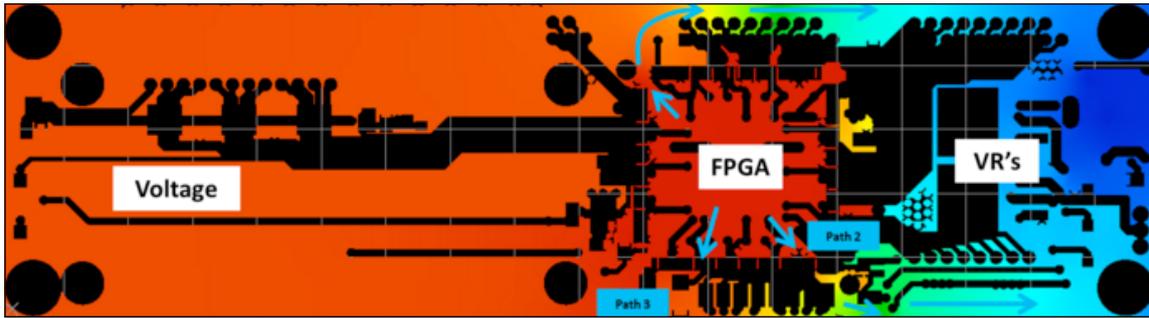


Figura 8: trazado de voltaje de la forma de conexión a tierra que muestra caminos de retorno de corriente

Sin duda el diseñador debe ser cuidadoso al observar las formas de conexión a tierra en el contexto de su utilización como un camino de retorno para las señales de alta velocidad, que pueden no superponerse con su función como un camino de retorno de CC. Las formas de conexión a tierra (y algo de potencia) que parecen innecesarias para propósitos de distribución de energía CC pueden ser críticas para la integridad de la señal. Pero incluso en ese contexto, se deben evitar las "islas" y "penínsulas" y solo se deben diseñar cuando no hay otra opción. IP-CC a menudo resalta bien estas formas no deseadas donde existen.

Otro ejemplo en donde el trazado de densidad de corriente IP-CC es especialmente detallado se puede ver en la **Figura 9**. En este ejemplo, es muy evidente una pequeña ruptura en el plano de tierra – el color de la densidad de corriente cambia abruptamente de verde a azul en la ruptura. Esto marca una diferencia significativa en la distribución de energía CC, de esa forma, por lo que es improbable que se pueda identificar el problema sin el uso de esta vista de resultados IP-CC.

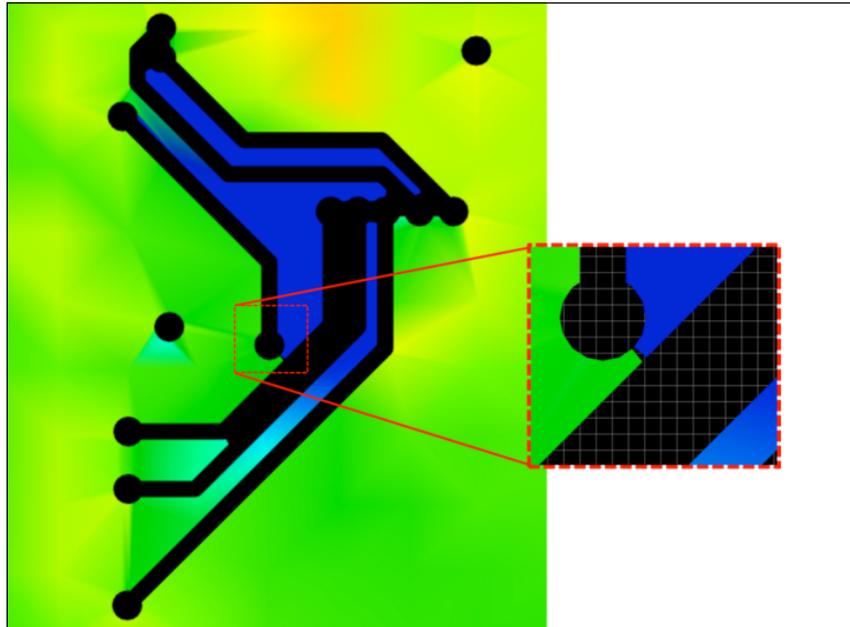


Figura 9: pequeña ruptura en un plano de tierra visible en el trazado de densidad de corriente IP-CC

Existen algunos aspectos no intuitivos de IP-CC que valen la pena resaltar. La resistencia CC de un camino no solo depende del ancho del camino, sino también del largo. Un camino CC puede ser angosto si no es muy largo, sin un efecto significativo en la distribución de energía. Por ejemplo, los caminos (b) y (d) de la **Figura 10** tienen la misma resistencia. Para comprender la resistencia CC de las formas, el concepto "cuadrados" es preciso, como se muestra en la **Figura 10**. podrá contraer el camino CC a un ancho menor si es solo por una distancia corta, y ensanchar el camino lo más posible en espacios abiertos puede compensar las restricciones necesarias. Utilizar el mismo ancho para una red de distribución de energía en todo su largo es ineficiente, no provee la mejor distribución de energía disponible y utiliza grandes formas de potencia.

ANÁLISIS CC DE UNA PDN: ESENCIAL PARA EL DISEÑADOR DIGITAL

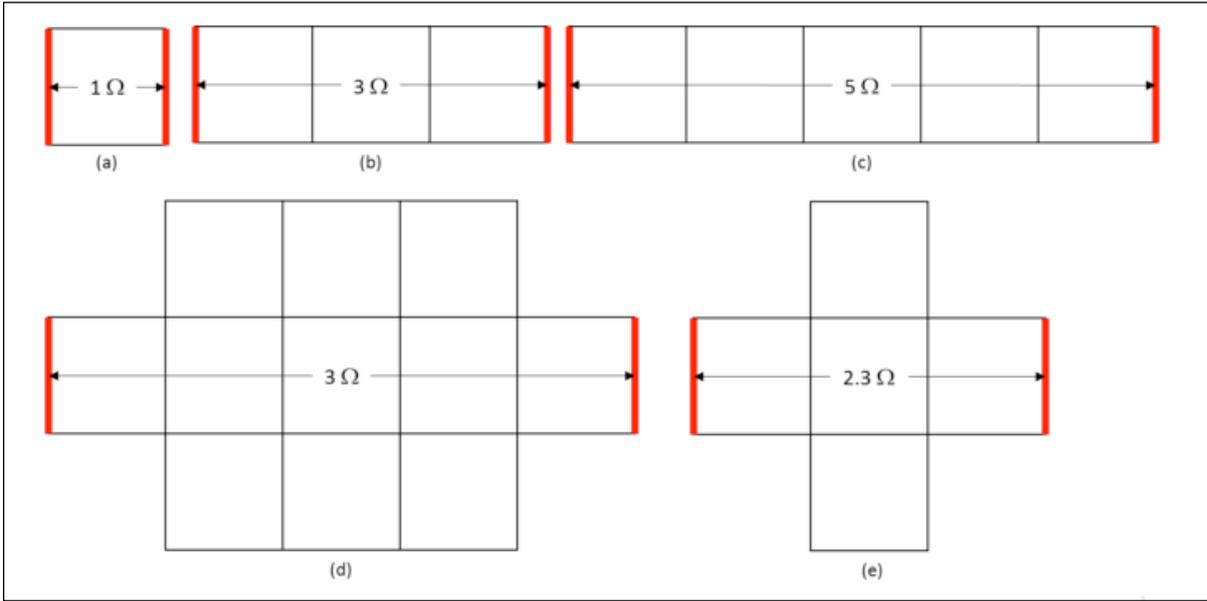


Figura 10: resistencia de formas de energía como "cuadrados"

La **Figura 11** ilustra 4 formas de energía con figuras muy diferentes, todas con la misma resistencia global. IP-CC le da a los diseñadores opciones para modificar las formas de PDN para cumplir con los requisitos de distribución de potencia de la manera más eficiente.

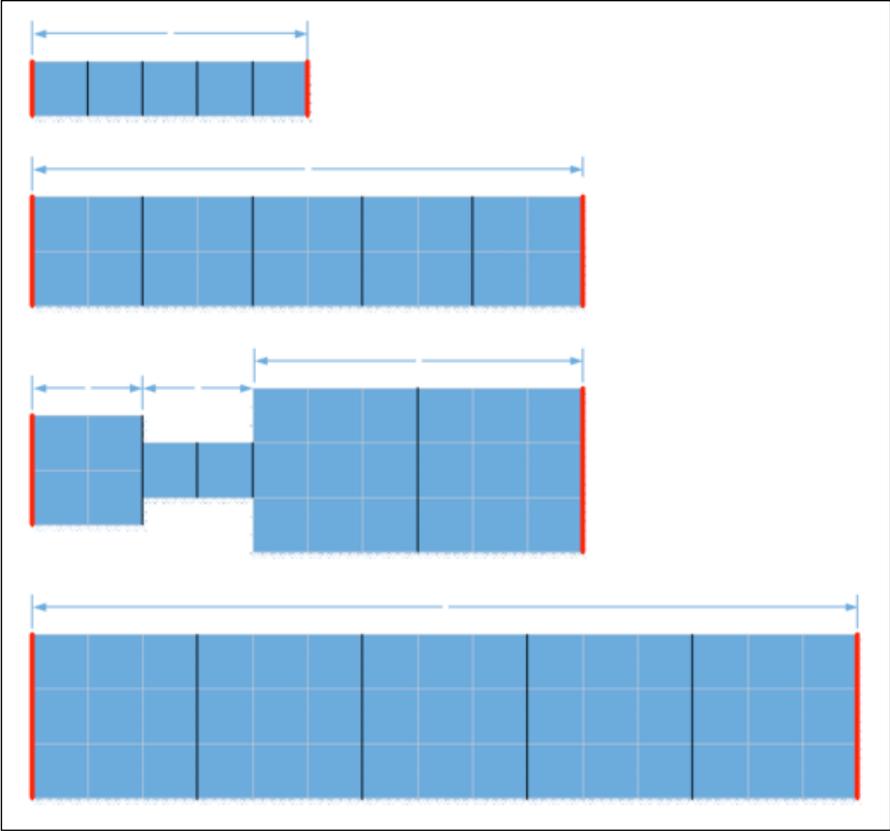


Figura 11: varias formas de energía con la misma resistencia

ANÁLISIS CC DE UNA PDN: ESENCIAL PARA EL DISEÑADOR DIGITAL

¿POR QUÉ LOS DISEÑOS CON ERRORES FUNCIONAN BIEN?

Algo que sucederá inevitablemente cuando ejecute IP-CC en diseños existentes es que encontrará muchos "errores" en los diseños. Muchas personas han resaltado que encuentran errores prácticamente en cada diseño que analizan con IP-CC – "¿Cómo funcionan si están tan rotos?". Existen 2 factores primarios que permiten a los diseños defectuosos, incluso con fallas en su construcción de IP-CC:

1) La distribución de energía CC ha sido históricamente conservadora. Para determinar el ancho correcto de un conductor para una corriente dada, las especificaciones IPC convocan al ancho, que depende del aumento de temperatura permitida. Los diseñadores digitales generalmente no cuentan con datos confiables con respecto a cuánto aumento de temperatura es apropiado entonces utilizan valores conservadores, probablemente basados en experiencias anteriores, o brindan "tanto cobre como el que hay disponible". Si tienen dudas con respecto a si es suficiente, cuentan con revisar el voltaje durante la validación. Si el diseño cumple con los requisitos, eso suma a su experiencia y lo usan como guía para diseños futuros. Sin diseños fallidos no es posible que un diseñador sepa si puede reducir la cantidad de cobre destinado a la distribución de energía, entonces se vuelven conservadores. Hay un margen suficiente en el diseño para adaptar las fallas, incluso las insignificantes.

2) Las "penínsulas" o "islas" no afectan negativamente la distribución de energía **CC**, pero pueden afectar la distribución de energía CA o la integridad de la señal al azar. Son señales de que un diseño se puede mejorar, pero puede que no causen que un diseño falle para una distribución de energía CC. Presentan otro problema para la distribución de energía **CA** y **integridad de señal** ya que pueden "resonar" en frecuencias particulares. Si esas frecuencias se incitan en la forma, se puede inducir un excesivo ruido CA en la PDN, y si existen señales adyacentes a la forma, pueden introducir ruido significativo en esas señales en su(s) frecuencia(s) resonante(s), lo que causa fallas lógicas. En cualquiera de los casos, las fallas dependerán de la existencia de las frecuencias resonantes particulares y pueden aparecer al azar, o solo ocurrir en circunstancias muy particulares, lo que las hace muy difíciles de replicar, resolver y corregir. Es más razonable tomar pasos para mitigar de manera preventiva esos problemas particularmente maliciosos.

Quizás el uso de términos como "imperfecciones", "áreas para mejorar", o "no ideales" es mejor que "errores", pero en estos días, donde hacemos énfasis en la vida útil de la batería y en el ahorro de costos, ser demasiado conservador o permitir errores en la forma de energía como penínsulas, puede hacer la diferencia entre un producto erróneo o exitoso y ya no se puede ignorar. IP-CC no solo brinda información sobre si una PDN es adecuada, sino también informa sobre si las formas de distribución de energía son necesarias.

ASEGÚRESE DE LIMITAR LA CORRIENTE DE ALGÚN MODO

Una consideración importante en el diseño de una PDN es contemplar las circunstancias no planificadas. El diseñador debe saber que, en el caso de un aumento de corriente catastrófico (por ejemplo, un cortocircuito a tierra), es posible que una forma de energía optimizada no pueda absorber esa corriente extra y cause una falla en el diseño. Se deben proveer algunos medios para limitar el flujo de corriente en caso de errores catastróficos, si estos se encontraran (por ejemplo, que la energía se dirija hacia algún conector que pueda estar en cortocircuito durante la instalación).

ANÁLISIS CC DE UNA PDN: ESENCIAL PARA EL DISEÑADOR DIGITAL

DETERMINAR EL TAMAÑO Y LA CANTIDAD DE VÍAS

Una regla general que se utiliza comúnmente en la distribución de energía es tener suficientes vías, de modo que el área transversal sea igual o más grande que las formas de energía que se están conectando. La experiencia indica que esto es suficiente, pero una herramienta IP-CC puede informarle si es necesario. Usar un exceso de vías, o vías excesivamente grandes, causa restricciones de enrutamiento en todas las capas por encima y por debajo de la transición, y no debe hacerse a la ligera en la mayoría de los diseños de hoy en día. Las vías innecesarias en una forma de energía pueden afectar a otra forma de energía en otras capas. Una herramienta IP-CC permite medir el efecto de las vías en la PDN. La **Figura 12** muestra 7 vías (rodeadas, etiquetadas desde la "a" hasta la "g") en un diseño de distribución de energía. Un examen cuidadoso revela que hay un cambio significativo de color en 3 de las vías, "a", "b" y "d", lo que indica la caída de voltaje correspondiente como consecuencia de cada una de estas tres. Examinar la caída de voltaje exacta en la parte superior e inferior de estas vías (una capacidad común de las herramientas IP-CC) le permite al diseñador determinar si el tamaño y la cantidad de las vías son adecuados y necesarios. Como se explicó antes, existe cierta ambigüedad en la medición exacta de vías en simulaciones, por lo que, por ejemplo, se debe tener cuidado al considerar los efectos del espesor del revestimiento. Note que las vías comúnmente se representan como "elementos aglomerados", a los que se les asigna una resistencia como función del diámetro y longitud de las vías, y generalmente no se "resuelven" como columnas complejas dentro del solucionador, lo que hace que las simulaciones sean más rápidas sin sacrificar precisión significativa.

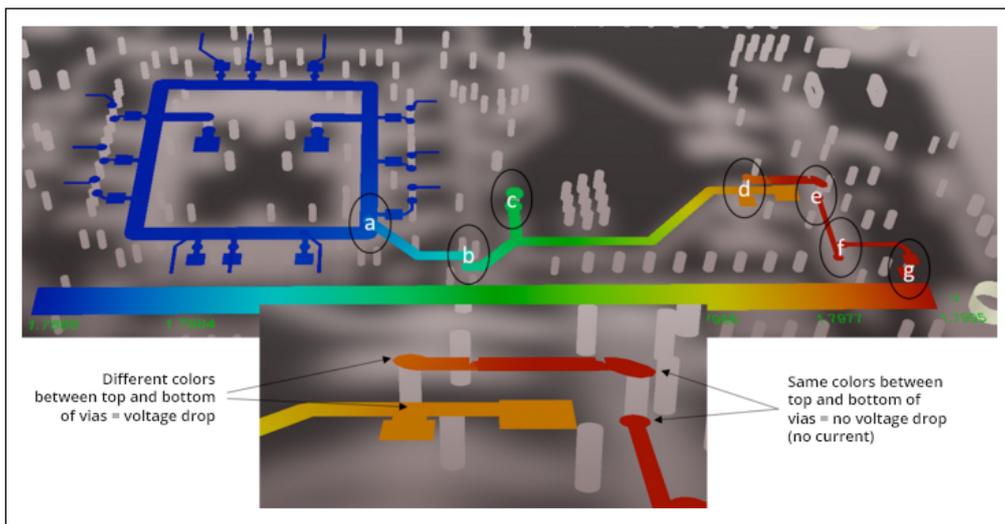


Figura 12: trazado de voltaje que muestra la caída de voltaje de las vías y la forma

CONCLUSIÓN

Un simulador IP-CC es una herramienta esencial para cualquier caja de herramientas de un diseñador digital, ya que provee conocimiento valioso con respecto a cómo reducir el tamaño y la complejidad del diseño, mientras que se mejora el rendimiento. Optimizar la red de distribución de potencia puede ahorrar espacio y capas de diseño preciados, lo que resulta en un costo bajo con mayor rendimiento y confianza. La simulación IP-CC es una capacidad esencial para cada diseñador digital (y analógico)